

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ВАЛЬЦОВОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И РАЗВАЛЬЦОВКИ ТРУБ В КОТЛАХ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Инж. Л. Д. ГИНЗБУРГ-ШИК

Материалы котлов высокого давления

Повышение рабочего давления котлов за последнее десятилетие вызвало значительное увеличение толщины стенок барабанов, коллекторов и котельных труб, что, кроме значительного утяжеления и удорожания котельного агрегата в целом, вызывает возникновение высоких температурных напряжений в стенках барабанов вследствие значительной разности температур, возникающей в толстой стенке.

Стремление уменьшить толщину стенок барабанов, коллекторов и труб котлов высокого давления привело к их изготовлению из сталей с повышенным содержанием углерода или из низколегированных сталей, обладающих повышенными прочностными показателями.

Одновременно с повышением давления котлов повышалась и температура перегрева пара. Как известно, условия сопротивления ползучести при температурах пара $\geq 450^{\circ}\text{C}$ требуют применения молибденовых, а при температуре $\geq 500^{\circ}\text{C}$ — хромомолибденовых или других сортов низколегированных сталей.

Способы соединений труб с барабанами и коллекторами

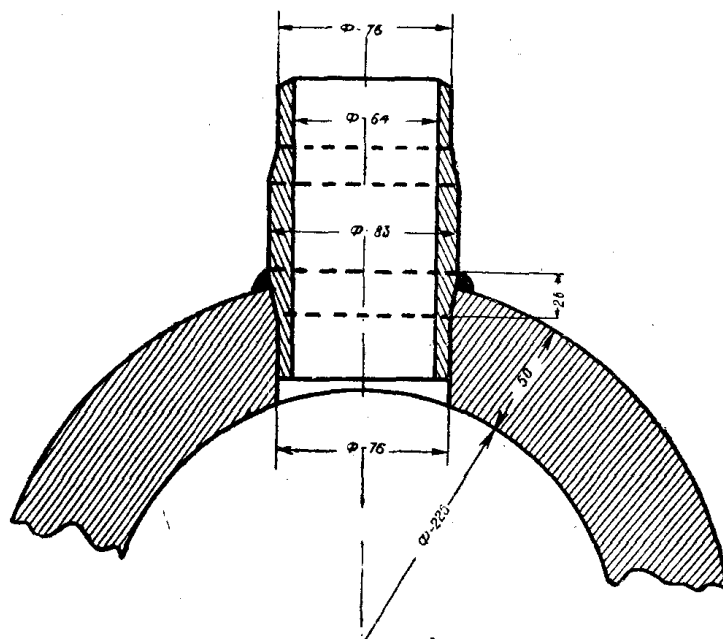
Способ соединения котельных труб с барабанами, коллекторами экранов, перегревателей и водяных экономайзеров также претерпел ряд конструктивных изменений в котлах высокого давления по сравнению с котлами низкого и среднего давления. Соединение труб с коллекторами осуществляется как отечественными заводами, так и большинством зарубежных заводов на сварке. При этом к коллекторам привариваются штуцеры, или штуцеры закрепляются на резьбе, с последующей обваркой с наружной стороны легким плотным швом. На фиг. 1 представлен коллектор с приваренными штуцерами, а на фиг. 2 — коллектор с штуцерами на резьбе и наружной обваркой.

Коллекторы после варки штуцеров подвергаются на заводе соответствующей термообработке.

Замена вальцовочных соединений в коллекторах на сварные объясняется освоением в последние годы техники сварки низколегированных сталей, а также значительным увеличением толщины стенок труб котлов высокого давления, развальцовка которых (особенно малых диаметров труб пароперегревателей и водяных экономайзеров) в монтажных условиях несравненно сложнее, чем приварка труб.

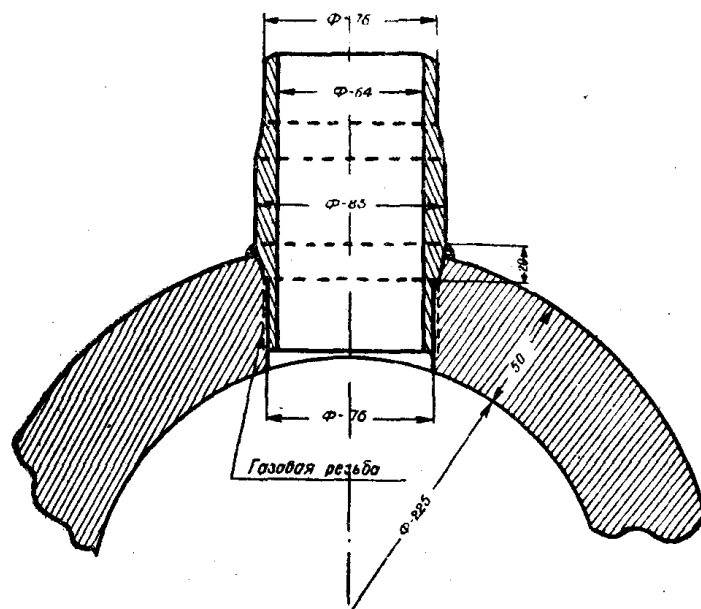
Иначе решается вопрос соединения труб с барабанами котлов высокого давления.

Наличие паро- и водоперепускных труб, соединяющих основной и сепарационный барабаны современных котлов высокого давления, с небольшим поперечным и продольным шагом, не обеспечивающим достаточного места для производства сварочных работ, не дает возможности конструктору решать соединение этих труб с барабаном при помощи сварки.



Фиг. 1. Коллектор с приваренными штуцерами

Кроме того, следует иметь в виду, что приварка штуцеров вызывает необходимость термообработки барабана для снятия напряжений, что требует устройства нагревательных печей значительных размеров на заводе.



Фиг. 2. Коллектор с штуцерами на езьбе и наружной обваркой

По этим причинам в котлах высокого давления соединение водо-и пароперепускных труб с барабанами осуществляется на вальцовке.

Конструктивные факторы, обуславливающие получение надежных вальцовочных соединений

Если в котлах среднего давления расчетные напряжения в стенках барабана были относительно невелики, то в котлах высокого давления они оказывают значительное влияние на работу вальцовочных соединений, ставя их в более тяжелые условия и требуя повышенной их прочности. Кроме того, высокое давление пара резко увеличивает вырывающие усилия труб.

Возникающая при эксплуатации котла разница температур между стенками труб и барабана, особенно во время растопок и остановок котла, также стремится ослабить плотность вальцовочных соединений.

Благодаря перечисленным факторам вальцовочные соединения котлов высокого давления для надежной их работы должны обладать повышенной прочностью и плотностью.

Ниже приводятся основные условия, обеспечивающие получение надежных вальцовочных соединений.

Правильное соотношение материала барабана и труб

Как известно, плотность вальцовочного соединения создается остаточной деформацией металла трубы, вызывающей в процессе развальцовки упругую деформацию трубного гнезда.

Упругая деформация трубного гнезда по окончании развальцовки трубы и создает необходимое „контактное давление“ между гнездом и телом трубы, величина которого и определяет степень плотности соединения.

Для обеспечения плотности соединения в эксплуатационных условиях величина „контактного давления“ должна быть достаточной для компенсации деформаций гнезда и трубы, возникающих под действием рабочих давлений и температур.

Разберем несколько случаев различного соотношения между металлом барабана и труб:

1. Металл барабана мягче металла труб. В этом случае при развальцовке металл трубной решетки приобретет остаточные деформации, которые после развальцовки не смогут создать необходимого „контактного давления“ между трубой и гнездом, и при этих условиях невозможно создать качественное соединение, что и подтверждается рядом исследований.

2. Металл барабана значительно тверже металла труб.

В этом случае, даже если трубы будут перевальцованы, металл трубной решетки не приобретает достаточных по величине упругих деформаций, способных создать необходимое „контактное давление“ между трубой и гнездом, что подтверждается, в частности, опытом монтажа котлов высокого давления на одной электростанции, где барабаны котлов были из хромоникелемолибденовой стали с пределом прочности $74,5-80,0 \text{ кг/мм}^2$, а трубы из металлоуглеродистой стали с пределом прочности $38,6-39,3 \text{ кг/мм}^2$.

Из приведенных примеров видно, насколько большое значение для создания качественного вальцовочного соединения имеет выбор правильного соотношения между металлом барабана и труб.

Исходя из условий, необходимых для создания качественных вальцовочных соединений, котлостроительные заводы выработали известное оптимальное соотношение между металлом барабана и труб:

по твердости—металл барабана должен быть тверже металла труб на 10—15 единиц по Бринелю;

по пределу текучести—предел текучести металла барабана должен быть выше предела текучести металла труб (при 20°C) на $3-5 \text{ кг/мм}^2$.

Ширина вальцовочного пояса

Создание при помощи вальцовок необходимого „контактного давления“ при ширине вальцовочного пояса, равной толщине стенки барабана, достигающей в котлах высокого давления до 100 мм и более,—оказывается практически невозможным вследствие пружинения косо расположенных роликов вальцовки. Многочисленные исследования показали, что для создания необходимой плотности соединения при давлениях 100—120 атм достаточна ширина вальцовочного пояса 40 мм. В соответствии с этим большинством заводов принята ширина вальцовочного пояса 40 мм, независимо от толщины стенки барабана, и лишь в редких случаях ширина пояса достигает 50 мм.

Канавки в трубных гнездах и их влияние на прочность и плотность соединения

Для увеличения прочности вальцовочных соединений в трубных гнездах делают одну или две кольцевых канавки. При вальцевании металл трубы выдавливается в направлении оси трубы и заполняет канавки. Опыты по-



Фиг. 3 Схематическое изображение образования опорной поверхности при 2 канавках

казали, что при наличии канавок требуется примерно на 50% большая сила для вырывания трубы, чем при гладком гнезде.

Кроме увеличения прочности, двойные канавки, образуя поперечную опорную поверхность по окружности гнезда, увеличивают плотность соединения (фиг. 3).

Конструкция трубных гнезд

На фиг. 4 представлены конструкции трубных гнезд, применяемые котлостроительными заводами.

Как видно из фиг. 4, вальцовочный пояс располагается с внутренней стороны барабана.

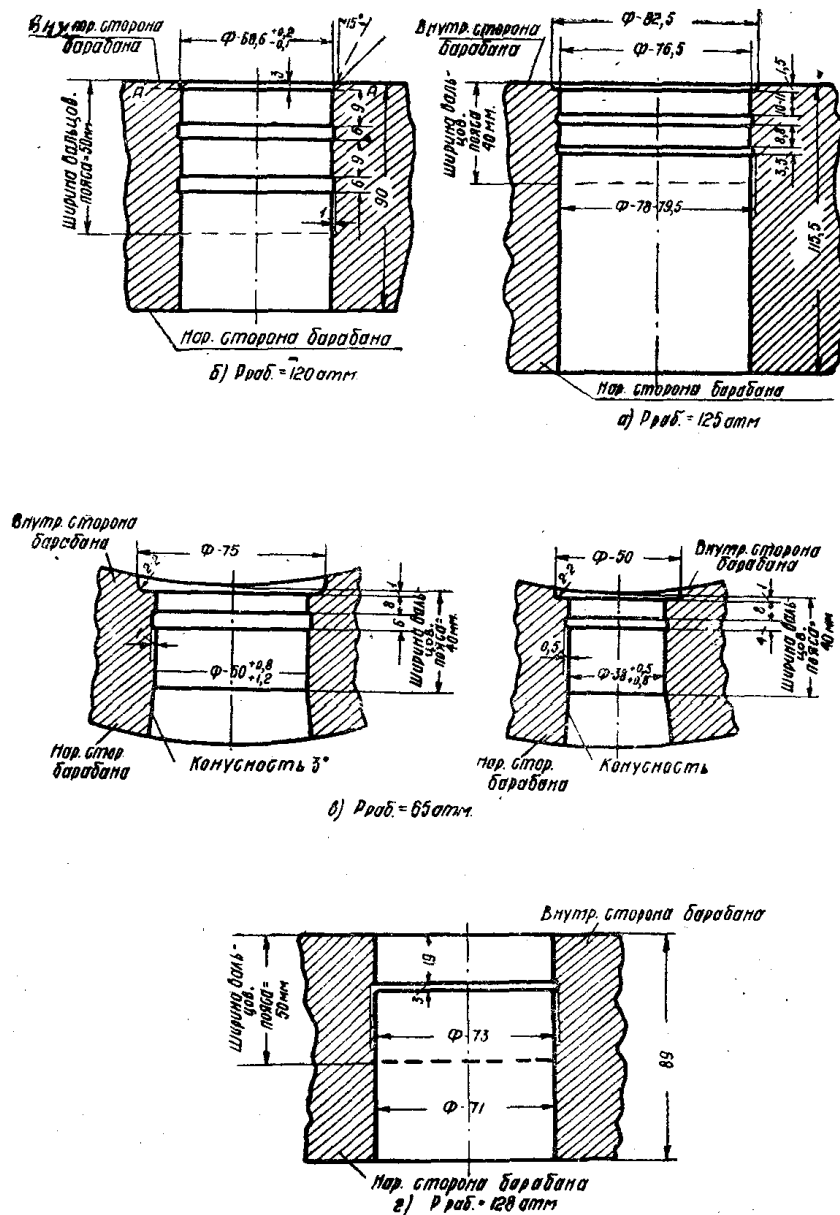
Трубные гнезда за вальцовочным поясом либо имеют цилиндрическую форму во всю толщину стенки барабана (фиг. 4а, б, г), или диаметр их увеличивается на конус (фиг. 4в).

Канавки имеют прямоугольное, трапецеидальное или полукруглое сечение глубиной 0,8—1,0 мм и шириной 3—6 мм. При одной канавке—она располагается на расстоянии примерно $\frac{1}{3}$ ширины вальцовочного пояса, ближе к внутренней стенке барабана. При 2 канавках, они расположены симметрично по отношению середины вальцовочного пояса (фиг. 4а и б).

В некоторых конструкциях трубных гнезд предусмотрена конусная расточка внутренней кромки для частичного или полного утопления колокольчика с целью повышения сопротивления трубы вырыванию (фиг. 4б). Конусность расточки делается обычно под углом 15° соответственно конусности бортовочных роликов. При наличии расточки высоту колокольчика следует считать от начала расточки (плоскость АА.)

Выбор оптимальной степени развальцовки

В котлах низкого и среднего давления степень развальцовки выбиралась только в зависимости от диаметра труб. В котлах высокого давления влияют и другие факторы, от которых зависит правильный выбор степени



Фиг. 4. Конструкции трубных гнезд барабанов котлов высокого давления

развальцовки, а именно: толщина стенок трубы, наличие канавок и материал труб.

Ряд котлостроительных заводов и монтажных организаций выработал опытные нормы оптимальных значений степени развальцовки, составляющие 18—25% толщины стенки трубы, причем нижний предел относится к трубам меньшего, а верхний—к трубам большего диаметра.

Ниже приводится часть таблицы оптимальных степеней развальцовки для различных диаметров и толщины стенок труб (табл. 1).

Таблица 1

Для предварительного выбора степени развальцовки труб

Диаметр гнезд в мм	Размеры трубы в мм		Толщина стенки трубы	Степень развальцовки труб в мм	
	наружный диаметр	внутренний диаметр		гнездо с канавкой	гнездо без канавки
60,8	60,0	52,0	4,0	1,0	1,4
60,8	60,0	51,0	4,5	1,2	1,4
60,8	60,0	50,0	5,0	1,2	1,4
60,8	60,0	48,0	6,0	1,2	1,4
70,8	70,0	62,0	4,0	1,0	1,3
70,8	70,0	61,0	4,5	1,1	1,4
70,8	70,0	60,0	5,0	1,2	1,5
70,8	70,0	58,0	6,0	1,3	1,6
76,8	76,0	68,0	4,0	1,0	1,3
76,8	76,0	67,0	4,5	1,1	1,5
76,8	76,0	66,0	5,0	1,2	1,5
76,8	76,0	64	6,0	1,3	1,6

Однако слепо следовать этим данным нельзя, так как они действительны только для данных условий и материалов. Поэтому является обязательным до начала вальцовочных работ по котлу высокого давления произвести развальцовку 5—10 опытных образцов труб каждого диаметра в теле барабана или коллектора при различных степенях развальцовки, близких к указанным в табл. 1 для данного диаметра и толщины стенки трубы. Затем выбивают завальцованные концы труб и осматривают их. Тот образец, в котором получилось более полное заполнение канавки металлом трубы и более ясный „отпечаток“ гнезда на трубе при минимальной степени развальцовки, считается наилучшим, и степень его развальцовки принимается для последующих вальцовочных работ.

Объективные способы контроля степени развальцовки и вальцовочный инструмент

Ввиду наличия в котлах высокого давления ряда факторов, влияющих на степень развальцовки, здесь нельзя доверять только навыку вальцовщика, по которому он заканчивает развальцовку трубы.

Кроме того, увеличение толщины стенок труб требует резкого возрастания крутящего момента при вальцовке труб. Необходимость получения качественных вальцовочных соединений и стремление к механизации трудоемкого процесса вальцевания труб вызвали необходимость в установлении объективного контроля степени развальцовки.

Существует ряд способов объективного контроля степени развальцовки:

1. По перемещению конуса относительно корпуса вальцовки.
2. По продольному удлинению трубы, измеряемому индикатором.
3. По крутящему моменту.

В отечественной монтажной практике котлов высокого давления получил наибольшее распространение первый способ контроля, примененный на монтаже котлов высокого давления ряда отечественных электростанций.

Для замера перемещения конуса относительно корпуса конус вальцовки снабжается нониусом.

Процесс вальцевания делится, как обычно, на 2 отдельных операции:

- а) крепление трубы (привальцовка),
- б) развальцовка трубы и бортовка.

В соответствии с этим применяются два типа вальцовок: косая крепежная вальцовка с нониусом и косая бортовочная вальцовка с нониусом.

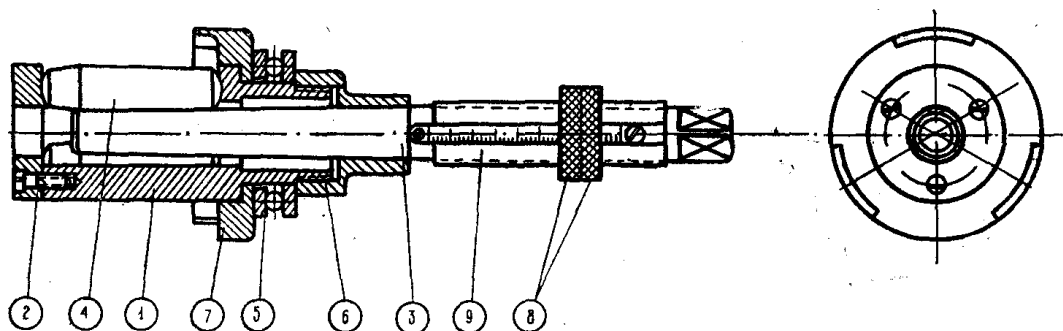
Примечание. В настоящее время трестом „Центроэнергомонтаж“ проводится опытная работа по установлению необходимого контактного давления для обеспечения плотного и прочного соединения, продольного удлинения трубы и крутящего момента.

Косая крепежная вальцовка (фиг. 5) представляет собой крышечную вальцовку с расположением крышки с нижней стороны корпуса. Число роликов—3, конусность конуса— $1/18$, роликов— $1/36$, угол наклона роликов— $1\frac{1}{2}^\circ$.

Как видно из фиг. 5, конец конуса 3 имеет резьбу; на конусе укреплен линейка со шкалой (нониус): 1 деление шкалы равно 1,8 мм, что соответствует раздаче трубы в 0,1 мм.

Для уменьшения трения вальцовка снабжена упорным шарикоподшипником 5, упорным кольцом 7 и двумя установочными гайками 8.

Косая крепежная вальцовка с нониусом для барабана.



Фиг. 5

1—корпус, 2—крышка, 3—конус, 4—ролик вальцовочный, 5—упорный подшипник, 6—гайка корпуса, 7—упорное кольцо, 8—установочные гайки, 9—нониус


В процессе вальцевания конус перемещается вместе с установочными гайками относительно корпуса вальцовки. Следовательно, разность отсчетов по шкале линейки в конце и в начале вальцевания представляет продольное перемещение конуса относительно корпуса, что и определяет величину степени развальцовки трубы.

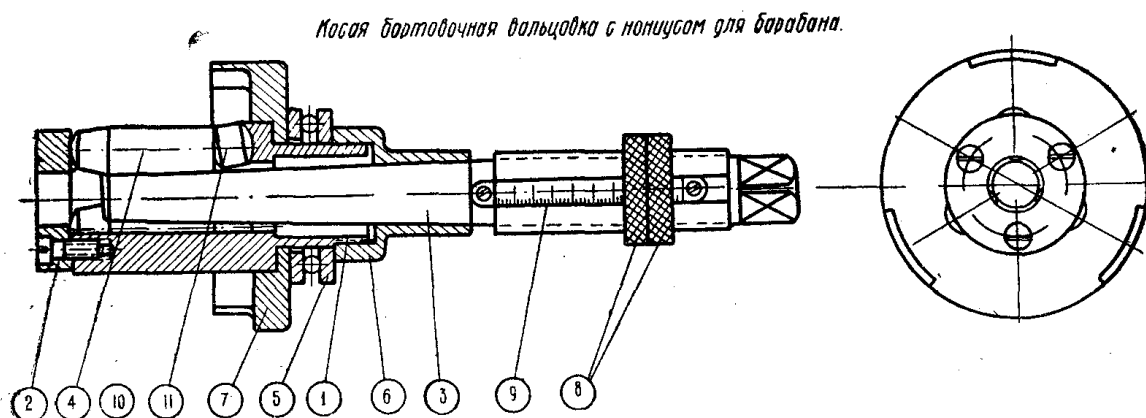
Можно также ограничить заданную степень развальцовки, установив дистанционные гайки 8 по шкале на соответствующем расстоянии от торца крышки корпуса 6, и вальцевать трубу, пока гайки не упрутся в последнюю.

Косая бортовочная вальцовка (фиг. 6) имеет по два бортовочных и укороченных ролика и один длинный ролик. Остальные детали ее ничем не отличаются от косой крепежной вальцовки.

Вследствие значительной толщины стенок труб котлов высокого давления и применения легированных сталей конусы и ролики изготовляют из стали марок ЭИ-10 или ШХ-15.

В последнее время были изготовлены опытные ролики из углеродистой стали марки СТ-5 с цементацией поверхности с целью повышения способности стержня роликов противостоять изгибу, которому он подвергается

	Эскизы к РЧ. по развальцовке труб котлов высокого давления.	Завод Т.О.	Листов-2
		№ 173219	Листов-2



Фиг. 6

1—корпус, 2—крышка, 3—конус, 4—ролик вальцовочный, 5—упорный подшипник, 6—гайка корпуса, 7—упорное кольцо, 8—установочные гайки, 9—нониус, 10—ролик укороченный, 11—ролик бортовочный

вследствие своего косого расположения по отношению конуса вальцовки. Первые опыты работы показали хорошие результаты.

Порядок производства вальцовочных работ

В связи с тем, что трубы по наружному диаметру могут иметь отклонения от номинального размера в пределах допусков, установленных МПТУ 2579—1950 года, перед установкой труб производятся замеры диаметра каждого трубного гнезда и внутреннего и наружного диаметра концов труб. Одновременно составляется схема гнезд для каждого барабана с нумерацией рядов и гнезд внутри ряда и журнал вальцовочных работ (табл. 2).

Для облегчения замера диаметров гнезд и внутренних диаметров труб употребляются специальные измерители, позволяющие производить измерения с точностью до $\pm 0,1$ мм.

Имея данные замеров труб и гнезд, заполняют графы 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 и 11 журнала вальцовочных работ. Данные для графы 7 получают как разность между данными граф 4 и 5. Данные для графы 11 получаются как сумма данных графы 7 и заданной степени развальцовки в миллиметрах.

Для прихватки конца трубы в него вставляется крепежная вальцовка до упора опорного кольца в тело барабана. Вальцовка приводится во вращение до тех пор, пока не будет выбран зазор между трубой и гнездом и труба перестанет шататься; в этот момент фиксируется отсчет по шкале нониуса, и труба закрепляется развальцовкой дополнительно на 3—4 деления по шкале; этим трубе дается раздача на 0,3—0,4 мм.

При помощи измерителя замеряется внутренний диаметр трубы после прихватки и заносится в графу 8 журнала.

										№ рядов труб по развернутой схеме барабана
										№ труб в ряду
										Материал труб (марка стали)
										Диаметр гнезда в мм
										Наружный диаметр трубы в мм
										Внутренний диаметр трубы в мм
										Теоретическая величина раздачи трубы (зазор) при прихватке в мм
										Внутренний диаметр трубы после прихватки в мм
										Излишек прихватки в мм
										Остаток раздачи до полной развальцовки трубы в мм
										Общая раздача трубы в мм
										Фактический внутренний диаметр трубы после развальцовки в мм
										Результаты гидравлического испытания
										Фамилия вальцовщика

Журнал вальцовочных работ в барабане котла

Одновременно заполняется графа 9—излишек прихватки. Перед производством развальцовки труб задают рабочему величину необходимой раздачи каждого конца трубы, с учетом произведенного излишка прихватки, указанной в графе 9 журнала. Эту величину необходимой раздачи вычисляют путем вычитания из величины общей раздачи трубы (графа 11) суммы величин, занесенных в графы 7 и 9 журнала; полученную разность заносят в графу 10.

Для развальцовки бортовочная вальцовка с конусом вставляется в конец трубы так, чтобы бортовочный ролик зашел в трубу на 1—2 мм и рукой поворачивают конус вальцовки до отказа; затем делают отсчет по шкале нониуса и производят вальцевание трубы на величину раздачи, указанную в графе 10 журнала, контролируя ее по делениям шкалы нониуса.

По окончании развальцовки измерителем замеряют внутренний диаметр трубы и заносят в графу 12 журнала. Цифры графы 12 должны быть равны сумме граф 6 и 11.

Требования, предъявляемые по зачистке концов труб и гнезд барабана, те же, что и в котлах среднего давления. Непосредственно перед вставкой рекомендуется протирать концы труб и гнезда тряпкой, смоченной в обезжиривающей жидкости (дихлорэтан или трихлорэтан). Зазор трубы в гнезде по диаметру должен быть не менее 0,5 мм и не более 1 мм для всех диаметров труб.

Трубы должны соответствовать МПТУ 2579—1950 г.

Техническая документация

Развальцовка труб в котлах высокого давления должна сопровождаться следующей технической документацией:

а) развернутыми схемами каждого барабана, с обозначением рядов гнезд и номеров гнезд в ряду; на развернутых схемах должны быть отмечены гнезда и трубы, имеющие отступления от норм как по размерам, так и по наличию глубоких рисок и т. п;

б) эскизами трубных гнезд барабанов, с указанием их номинальных размеров;

в) данными химанализа и механических свойств вальцуемых труб;

г) актом о результатах развальцовки пробных образцов и технологических проб труб, с указанием выбранной степени развальцовки;

д) журналом вальцовочных работ, отдельно по каждому барабану.

Выводы

1. Получение надежных вальцовочных соединений в котлах высокого давления (до 120 атм) следует считать освоенным.

2. Основным условием получения качественных вальцовочных соединений является правильный выбор и объективный тщательный контроль степени развальцовки каждого соединения.

3. Применение вальцовок с нониусом обеспечивает точный контроль степени развальцовки как при ручном, так и при машинном приводе.

4. Необходимо проведение дальнейших экспериментальных работ по выбору стали для конусов и роликов вальцовок малого диаметра, с целью увеличения срока их службы и разработки более простого объективного метода контроля степени развальцовки, ввиду того, что описанный метод очень сложен, так как требует производства многочисленных замеров труб.